6

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

PIERRE-MICHEL-ÉDOUARD JANNETTAZ

Maître de Conférences à la Faculté des Sciences,
Aide de Minéralogie au Muséum d'Histoire naturelle.

PARIS
IMPRIMERIE CHAIX
SOCIÉTÉ ANONYME
(Succursale B), rue de la Sainte-Chapelle, 5

1890

DES SURFACES ISOTHERMES

EN MINÉRALOGIE ET EN GÉOLOGIE

OU

Recherchss sur la propagation ds la ohaleur dans les substancss dont la structure ou la texture bien qu'homogène varie avec la direction. Applications : 1° à la connaissance ds la structure dss corps cristallisés ; 2° à l'étude du métamorphisme dans les rochss et à celle des mouvements du sol.

Après de longues années d'étude, je suis parvenu à un assez grand nombre de résultats, qui sont disséminés dans plusieurs publications. Je profite de ce court résumé, pour les réunir, et pour montrer comment ils se relient entre eux.

Dans l'origine, ces recherches avaient pour but d'étendre au plus grand nombre possible d'espèces minérales les observations si heureusement commencées par de Senarmont sur la propagation de la chaleur dans ses rapports avec la structure des corps cristallisés. Dé Senarmont avait eu la gloire de démontrer.l'harmonie de *la symétrie cristalline* et des directions des *lignes principales de conductibilité*, *axes des ellipsoïdes isothermes*.

J'ai donné plus de généralité à ces résultats. J'ai trouvé dans les corps cristallisés des relations entre les *sections principales de ces ellipsoïdes* et les *plans de clivage*, entre les *lignes principales* des mêmes surfaces et les directions de

plus grande résistance à la flexion, de *plus grande densité*, etc. J'ai poursuivi ces observations dans les roches, où j'ai obtenu déjà des relations analogues entre les *plans de symétrie* des surfaces isothermiques et ceux qu'on appelle *plan de schistosité, plan du longrain*. Ces résultats intéressent au plus haut degré la géogénie.

On se rappelle le procédé de de Senarmont qui consistait à percer d'un trou les plaques soumises à l'étude, après les avoir enduites de cire, à faire passer ensuite par le trou une tige dont on chauffait une extrémité. La chaleur détermine la fusion de la matière grasse, et celle-ci, après son refroidissement, dessine des bourrelets qui ont la forme d'ellipses ou de cercles qu'on peut appeler *isothermes*, puisque les rayons vecteurs de ces courbes mesurent les distances auxquelles parvient suivant leur direction la température nécessaire à la fusion d'une même substance. Par ce moyen, de Senarmont a vérifié sur un certain nombre de matières cristallisées ce fait fondamental, que la chaleur se conforme comme la lumière à la symétrie générale de la cristallisation.

Cette question résolue, une autre en quelque sorte primordiale se posait à l'esprit : celle de savoir s'il y a une harmonie égale, non plus entre l'enveloppe cristalline des corps, mais entre leur structure intime et leurs pouvoirs conducteurs pour la chaleur dans les différentes directions.

Pour arriver à la solution de ce problème, je devais multiplier les observations, et par conséquent rendre plus pratique le procédé de mon illustre devancier. Ce procédé, en effet, offrait deux inconvénients. Premièrement, il fallait percer les plaques, ce qui est dangereux et souvent impossible. De plus, il était difficile de trouver la position vraie des axes des courbes par rapport aux lignes du plan où on les produisait.

J'ai pu éviter le forage des plaques en les chauffant au moyen d'une petite sphère ou d'un petit cône de platine, dans lesquels s'engagent les extrémités de deux fils de même métal, mis en communication avec les deux pôles d'une pile. De cette façon, la partie qui échauffe la plaque est plus chaude que celle qui amène le courant avant sa transformation en chaleur. (*Ann. Chimie et Phys.*, 4e sér., t. XXIX, p 5. — *Bull. Soc. minéral. de France*, t. I, p. 19). En outre, j'ai imaginé une lunette qui permet de trouver la position des axes des courbes par rapport à des lignes situées dans leur plan. (Voy. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 3e sér., t. III, p. 499).

Elle utilise ce fait qu'en regardant une courbe du second degré, une ellipse, par exemple, au travers d'un morceau de spath d'Islande taillé en forme de prisme biréfringent, on observe deux images de cette courbe qui sont superposées en partie. Pour une position quelconque de la section principale du prisme, la droite qui joint les points d'intersection des deux images et celle qui joint leurs centres sont en général obliques l'une à l'autre; elles deviennent rectangulaires lorsque la section principale du spath est parallèle à l'un des axes de l'ellipse, au plus grand par exemple. Le prisme biréfringent permet d'augmenter ou de diminuer à volonté la distance des centres des images, sans altérer la longueur de leurs axes parallèles à la direction principale du spath.

Derrière le prisme biréfringent, au foyer de l'oculaire de la lunette, on place un fil mis en mouvement par une vis micrométrique, et toujours perpendiculaire pendant ce mouvement à la section principale du prisme. Le prisme et ce fil peuvent être entraînés ensemble à la main autour de l'axe optique. On amène le fil ou plutôt une de ses deux images, puisqu'il est dédoublé comme la courbe par le

prisme, à passer par un des points d'intersection des deux images de cette courbe. En général, il ne peut passer que par un seul des points d'intersection; mais en le tournant sur lui-même, on le voit à un certain moment passer à la fois par ces deux points d'intersection; à ce moment, la section principale du spath est exactement parallèle au grand axe de l'ellipse soumise à l'observation; en outre, le prisme mobile emmène avec lui un index le long d'un cercle divisé. Comme on peut placer la section principale du prisme devant une division connue, l'angle de rotation permet de connaître la distance angulaire de cette section principale et d'une ligne tracée sur le plan de la courbe en regard de cette division. Cet instrument que j'ai appelé *ellipsomètre* permet de déterminer la position des axes d'une ellipse sur une plaque, et d'en mesurer les longueurs relatives.

Au moyen de ces deux appareils, j'ai déjà étendu beaucoup le champ de mes recherches et j'ai construit l'ellipsoïde des conductibilités thermiques dans des espèces minérales sur lesquelles de Senarmont n'avait pu opérer. Le temps m'a seul manqué pour en observer à cet égard un plus grand nombre.

Mais je n'ai pas restreint le champ de mes études aux corps cristallisés. Je l'ai poursuivi dans les substances dont la texture reste homogène dans une même direction. Telles sont les roches et les matières à texture schisteuse. Dès cette époque, je me suis trouvé engagé dans deux voies différentes, parallèles néanmoins, de façon que les observations faites dans l'une complétaient ou élucidaient celles que fournissait l'autre.

Pour la clarté de l'exposition, je séparerai ces deux sujets; j'en montrerai ensuite les liens naturels. Ces deux chapitres peuvent s'intituler, le premier : *De la propagation*

d· la chaleur dans les corps cristallisés ; il a été ouvert par de Senarmont ; l'autre : *De la propagation de la chaleur dans les corps à structure régulièrement hétérogène et en particulier dans les roches à structure schisteuse.* Celui-ci n'avait pas de précédent à ma connaissance en géologie.

CHAPITRE PREMIER

DE LA PROPAGATION DE LA CHALEUR DANS LES CORPS CRISTALLISÉS

Rappelons encore le résultat obtenu par de Senarmont ; l'observation d'une harmonie constante entre les axes des ellipsoïdes isothermiques et ceux du prisme quadratique, du rhomboèdre ou du prisme hexagonal, et du prisme droit à base rhombe. Dans le prisme klinorhombique, un seul axe de l'ellipsoïde isothermique est en général parallèle à un axe cristallographique, celui qu'on appelle axe de symétrie, la diagonale horizontale de la base du prisme. Les deux autres axes de l'ellipsoïde sont dans le plan de symétrie perpendiculaire à cette diagonale horizontale ; ils font des angles variables d'une espèce à une autre avec l'intersection des faces du prisme ou arête verticale.

Relations de l'ellipse isothermique et de celle de décollement dans le gypse. — Cherchant un jour à reproduire une couche isothermique sur le plan de symétrie ou de clivage facile du gypse, en suivant le procédé de de Senarmont, pour la comparer à celle que me donnait mon appareil, je perçais un trou dans une lame de gypse, à faces parallèles au plan du clivage facile, le plan g^1 des cristallographes modernes, lorsque je vins à exercer une certaine pression sur la partie que ce forage n'avait pas encore atteinte. La pression écartant celle-ci de la supérieure, il y eut décollement de ces deux parties, entre lesquelles se dessinèrent

des courbes colorées, du genre de celles qu'on appelle *anneaux colorés de Newton*. L'on observe souvent des plages colorées d'une manière analogue, mais à contours fort irréguliers, dans des masses de gypse, qui ont reçu des chocs accidentels. Si la cohésion restait la même pour tous les points du plan g^1 dans le gypse, les anneaux colorés dont je viens de parler auraient la forme de cercles. Il n'en est pas ainsi ; la courbe est une ellipse dont les axes coïncident comme position et comme grandeur avec ceux de l'ellipse de conductibilité thermique. Or, les lignes principales optiques, isothermes et cristallographiques ne sont reliées par aucune loi connue les unes avec les autres dans le plan de symétrie du gypse. Il me paraissait donc remarquable de trouver une si parfaite coïncidence des axes de l'ellipse isotherme obtenue dans ce plan et de ceux de l'ellipse de décollement dont nous venons de parler. Ce n'était évidemment pas là une rencontre accidentelle.

La courbe dessinée par les anneaux colorés permet d'observer dans leur ensemble les flexions des différentes lignes du plan g^1 autour d'un même centre, le point sur lequel on exerce un effort. En outre, ces flexions sont modérées par des résistances longitudinales, ou pour parler le langage des cristallographes par des cohésions tangentielles ; il y a donc là une relation fondamentale dans les corps cristallisés, entre les cohésions tangentielles et les pouvoirs conducteurs pour les différentes directions autour d'un même point. J'ai pu déterminer des anneaux colorés du même genre par ce même procédé dans le sulfate de baryte ; j'y ai observé aussi leur coïncidence avec les courbes de conductibilité thermique.

Orientation des axes de l'ellipse par rapport aux plans de clivage. — Les clivages dépendant de la cohésion, la conduc-

tibilité thermique se trouvait en relation avec les clivages. De Senarmont avait bien remarqué que dans deux ou trois substances il y avait parallélisme du grand axe des courbes isothermes et du plan de clivage le plus facile ; mais il n'avait opéré que sur un petit nombre d'espèces minérales, parmi lesquelles se trouvaient justement celles très peu nombreuses où ce parallélisme n'a pas lieu. Aussi regardait-il cette coïncidence comme *fortuite*. J'avais complètement oublié cette remarque faite en passant par mon célèbre devancier, lorsque l'observation de la superposition des anneaux colorés produits par décollement et des courbes isothermes me découvrit le voile qui avait caché la loi jusque-là. Je n'avais plus qu'à vérifier cette loi au moyen des mesures que j'avais obtenues dans plus de soixante espèces cristallisées. Elles auraient suffi à démontrer qu'à peu près toujours un clivage plus facile entraîne une plus facile propagation de la chaleur.

Au fur et à mesure que mes observations se multiplient, c'est-à-dire que je puis me procurer des échantillons assez gros tout en restant purs, je vois cette loi confirmée de plus en plus. Parmi un grand nombre d'espèces clivables, trois ou quatre seulement font exception ; les exceptions me paraissent jusqu'ici relativement moins nombreuses que celles que présente une loi du même ordre, celle de la dilatation des corps sous l'influence de l'élévation de la température.

Utilité des ellipses isothermes pour la distinction des vrais et des faux clivages. — Outre les deux ou trois exceptions que j'ai plus tard élucidées, il restait un obstacle apparent à l'exactitude de cette loi. Un certain nombre de cristaux présentent des plans de séparation facile qui, au premier abord, ont l'air de vrais clivages. Les minéralogistes les plus sérieux ont toujours distingué avec soin ces faux cli-

vages des vrais. Ils nous ont enseigné que les cristaux s'accroissant par lamelles superposées, il y a souvent entre ces lamelles formées à des époques plus ou moins éloignées les unes des autres des substances étrangères qui indiquent bien l'origine de ces surfaces planes et qu'on peut souvent les séparer les unes des autres avec facilité ; mais que ces plans de séparation ne passent plus, comme les vrais clivages, par un point quelconque du cristal. Si on conçoit théoriquement avec netteté cette distinction, il n'est pas toujours facile de l'obtenir pratiquement. Les courbes isothermiques peuvent aider à résoudre cette difficulté ; car autant elles sont sous la dépendance des vrais clivages, autant elles sont indifférentes à la stratification des cristaux, à leur accroissement par strates, qui, dans certains cas, donne lieu à des plans de séparation facile, à ce qu'on peut appeler des *pseudoclivages*.

Orientation constante des axes des ellipses isothermiques dans un groupe d'espèces minérales. — Comme les clivages caractérisent en général les différents groupes naturels d'espèces minérales, amphiboles, pyroxènes, Wernérites, il en est de même de la position des axes de l'ellipsoïde isotherme. Dans les pyroxènes, le grand axe est toujours dans le plan de symétrie perpendiculaire à la base p, qui fait elle-même un angle de 106° avec la face h^1 ; le petit axe est parallèle à la diagonale horizontale de la base.

Dans les amphiboles, le grand axe est aussi dans le plan de symétrie, à 4° environ de l'arête verticale formée par les faces du prisme, et dirigée un peu en arrière ; le petit axe sur la base est dirigé suivant la diagonale inclinée, ce qui distingue les pyroxènes des amphiboles, et cela, quelle que soit l'orientation des axes d'élasticité optiques, si variable dans les amphiboles.

Résumé. — En résumé, mes recherches ont démontré :

1° que la chaleur se propage moins facilement dans la direction de la normale à un plan de clivage que suivant une des directions de ce plan; 2° que la loi s'applique aux cas si nombreux où il existe dans les cristaux plusieurs plans de clivage, à la condition de chercher la résultante de leur action sur le phénomène physique, recherche qui m'occupe encore en ce moment ; 3° que l'orientation relative du grand et du petit axe de l'ellipsoïde isothermique caractérise chaque groupe naturel d'espèces minérales et différencie ces groupes les uns des autres ; 4° que la nullité de l'action des faux clivages permet de distinguer ceux-ci des clivages réels ; 5° que les cristaux tendent à s'accoler suivant leur direction de plus grande conductibilité thermique.

Elles peuveut résoudre aussi certains problèmes importants et délicats relatifs à la structure des cristaux. Les micas, par exemple, ont été et sont encore divisés par un grand nombre de cristallographes en deux grands groupes au point de vue optique : micas à 1 axe et micas à 2 axes. Ces derniers offrent toutes sortes de valeurs pour l'angle de leurs axes, et par conséquent une transition insensible vers les micas à 1 axe. Tous ont les mêmes formes géométriques. Dans tous on observe les mêmes caractères thermiques ; sur les faces verticales m ou g^1 des ellipses extrêmement aplaties, sur la base p une courbe très sensiblement elliptique, que les axes fassent entre eux un angle de 0° ou de 75°. Les micas sont donc tous thermiquement biaxes.

Il reste néanmoins beaucoup à faire pour qu'on connaisse la conductibilité thermique des espèces minérales, comme on connaît leurs propriétés optiques, grâce aux travaux de Biot, de Brewster, et en particulier de M. Des Cloizeaux. C'est le but que je me suis proposé.

Enfin, en résolvant l'équation des courbes isothermiques,

j'ai montré que le procédé de de Senarmont peut s'appliquer aussi bien à la recherche des conductibilités relatives de matières différentes qu'à celle des conductibilités relatives des différentes directions d'une même matière.

CHAPITRE II

CONNEXIONS DE LA STRUCTURE DES ROCHES ET DE LEURS SURFACES ISOTHERMES; APPLICATIONS AUX CAUSES QUI ONT PRODUIT CETTE STRUCTURE ET AUX THÉORIES MODERNES SUR L'ORIGINE DE LA SCHISTOSITÉ, DU LONGRAIN ET DES DIACLASES.

Mes observations sur les relations de l'orientation de l'ellipsoïde isotherme dans les minéraux m'amenaient inévitablement à rechercher s'il y avait des connexions du même ordre entre les axes des surfaces isothermes dans les roches et leur structure. On savait que les roches schisteuses, ardoises, schistes argileux doivent leur schistosité à des pressions. Je n'ai pas à retracer ici l'historique de cette découverte ; elle est assez récente pour que personne ait oublié les expériences qui en ont fait une des plus heureuses conquêtes de la géologie moderne. Les noms de Sorby, de Tyndall et de M. Daubrée garantissaient la véracité des résultats. On ne conteste plus que la schistosité dans les roches soit due à des pressions Une argile comprimée d'homogène devient schisteuse, et, si elle renferme des lamelles de mica, d'holigiste, ou même, comme l'a démontré M. Daubrée, des cylindres de plomb, toutes ces matières se couchent suivant leur plus longue dimension sur le plan de la schistosité. Mais on pouvait à la rigueur objecter à cette théorie l'action inconnue du retrait; bien que cette dernière opinion ait cessé d'être imprimée depuis un certain nombre d'années, j'ai encore souvent

entendu dire qu'après tout le retrait donnait lieu à une fissilité, qu'on ne pouvait pas facilement faire la part du retrait et celle de la pression. Mes observations et mes expériences ont donné les résultats suivants :

Action du retrait. — Le retrait a une influence très faible sur la propagation de la chaleur. Si on recouvre de graisse ou de cire la section droite d'un prisme triangulaire, pentagonal, hexagonal de basalte, de trachyte ou de porphyre; si on applique ensuite l'extrémité inférieure de mon fil recourbé de platine, et si on fait passer un courant, le fil rougit, devient même incandescent ; la graisse fond, puis se refroidit, une fois le courant interrompu ; elle se fige et dessine un bourrelet saillant, dont le contour plus ou moins voisin d'une ellipse est toujours une courbe fermée; mais le grand axe de cette courbe est perpendiculaire aux fentes produites par le retrait; en outre l'action du retrait est bornée à une région très voisine des fentes. Dans le cas où le retrait est dû à la dessiccation, dans celui, par exemple, d'argiles ou de marnes humides abandonnées à l'action desséchante de l'air extérieur, les courbes sont en général circulaires.

Action de la stratification. — La stratification n'a pas non plus d'influence, pas plus que la texture lamellaire ou fibreuse dans les minéraux. Les marnes, les argiles les plus finement stratifiées n'offrent que des courbes circulaires.

Au contraire, si on soumet aux mêmes opérations, revêtement de graisse, échauffement d'un point, puis refroidissement, la surface d'une section obtenue en coupant une masse d'argile comprimée parallèlement à la pression qui agissait sur elle, et perpendiculairement à la schistosité développée par cette pression, le résultat est saisissant. La courbe isothermique est une ellipse qui a son grand axe parallèle, et son petit axe perpendiculaire à la schistosité.

Or, toutes les roches schisteuses sans exception, schistes cristallins, ardoises ou phyllades, schistes argileux, marnes schisteuses, les gneiss eux-mêmes sont soumis à la même loi. Sur une section plane dans ces roches, perpendiculaire à leur schistosité, on obtient une ellipse, dont le grand axe est parallèle à la trace de la schistosité sur la section. Et le rapport du grand axe au petit est considérable; il atteint quelquefois 3, et souvent 2, en sorte qu'une source de chaleur peut porter à la même température un point situé à une certaine distance lorsqu'on passe d'un feuillet à un autre dans la roche schisteuse, et un autre point situé à une distance 2 et même 3 fois plus grande, lorsque ce point reste sur le même feuillet que celui qui est échauffé.

Du longrain dans les roches. — Un an après la publication de ces résultats, j'eus le bonheur de voir un de mes savants confrères, M. Dufet, les confirmer par ses recherches personnelles. M. Dufet y ajoutait quelques remarques intéressantes; il pensait que la pression devait développer dans les masses comprimées, non seulement une schistosité perpendiculaire à la pression, mais un nombre infini de directions de fissilité parallèles à cette pression. Certaines roches schisteuses possèdent, il est vrai, non pas un très grand nombre, mais plusieurs directions planes de clivage, et j'en ai tenu compte dans un traité sur la détermination pratique des roches, que j'ai fait paraître quelque temps avant mes travaux sur les relations de ces plans de clivage et des courbes de conductibilité. On savait déjà que les ouvriers profitent d'un plan de séparation facile, perpendiculaire à la schistosité dans les ardoises, pour débiter ces roches en plaquettes, et M. Nivoit, ingénieur des mines à Mézières, eut la bonté de m'envoyer un fragment d'ardoise de Fumay, où se trouvait marqué le longrain. Sur le plan de schistosité lui-même cette fois je produisis une

courbe de fusion de la graisse dont je l'avais recouvert ; et je vis que la courbe était une ellipse ayant son grand axe parallèle au longrain. Plus tard, M. de la Houssaye envoyait à M. Daubrée un bloc d'ardoise, où il avait aussi indiqué la direction du longrain. Je retrouvai le même résultat que sur l'échantillon de Fumay.

Évidemment ce phénomène était général ; mais il était bon de s'en assurer. Je me rendis à Angers ; là, dans la carrière des Petits-Carreaux, je me fis expliquer par les ouvriers eux-mêmes la manière dont ils débitaient les ardoises. Dans cette carrière on a en face de soi le plan de la schistosité des phyllades ; c'est de ce plan qu'on profite tout d'abord pour l'abatage de la roche. En outre, celle-ci se trouve naturellement divisée en tronçons de prismes par deux systèmes de fentes à peu près perpendiculaires au plan de schistosité, inclinés l'un sur l'autre de 100 à 125°. Grâce à ces différentes directions planes de séparation facile, on extrait aisément des blocs en forme de prismes, ou plutôt de tables prismatiques, dont la schistosité fournit les bases et dont les fentes naturelles forment les pans. Ces deux systèmes de fentes, perpendiculaires à la schistosité, constituent les *joints* des carriers, *diaclases* de M. Daubrée. Ce n'est pas tout, les ardoises possèdent encore à Angers, comme dans l'Ardenne, une autre direction plane de séparation facile, qui n'est pas discernable pour un œil peu exercé, bien que les ouvriers sachent la reconnaître dans chaque carrière. Cette direction est appelée le *long* à Angers.

Le longrain passe par un point quelconque de la roche, comme le clivage proprement dit dans les minéraux, comme la vraie schistosité dans les roches. Comme la vraie schistosité, il garde une direction constante sur une grande étendue ; comme elle enfin, il peut être trouvé facilement à l'aide des courbes isothermes.

Le grand axe des courbes isothermes qu'on peut former sur le plan de clivage principal, plan de schistosité, est toujours parallèle au longrain.

En sorte que dans un certain nombre de roches, comme dans les cristaux du système orthorhombique, la surface isotherme est un ellipsoïde dont les trois sections principales sont : 1° le plan de schistosité contenant le grand axe parallèle au longrain et l'axe moyen perpendiculaire au précédent ; 2° le plan perpendiculaire à la schistosité passant par le longrain, contenant le grand axe et le petit ; celui-ci perpendiculaire à la schistosité ; 3° le plan perpendiculaire à la schistosité en même temps qu'au longrain, et contenant le moyen et le petit axe de l'ellipsoïde.

Il arrive. il est vrai. que le plan du longrain n'est pas exactement perpendiculaire au longrain, 'que l'ellipsoïde devient une surface un peu irrégulière ; mais, dans l'ensemble, ce qui précède est suffisamment vrai pour les applications actuelles à la géologie.

Pas plus que la schistosité, le longrain ne peut être expliqué par un retrait de roches, puisque le retrait a une action inverse sur la conductibilité thermique ; ainsi que je l'ai démontré. Cette action, ordinairement très faible, souvent nulle, n'est sensible qu'à une petite distance des fentes. Or, sur le plan de schistosité, les fentes appelées *diacloses* par M. Daubrée, sont assez distantes les unes des autres, et le longrain existe partout, près ou loin des fentes. Il semble que les diaclases prédisposent les roches à se casser suivant leur résultante. Le parallélisme ordinaire du longrain et des plans bissecteurs des dièdres formés par les diaclases montre les connexions de ces plans de séparation. Il y a donc ici analogie entre les clivages des minéraux et les diaclases des roches ; il y a cette différence cependant que les grands systèmes de cassures de

roches appelés diaclases paraissent localisés aux points qui les présentent, tandis que le longrain passe comme je l'ai dit, par un point quelconque de la roche ; dans les minéraux, les clivages passent de la même façon par un point quelconque du cristal. On peut objecter, il est vrai, qu'il n'est pas toujours aisé de mettre en évidence tous les clivages d'un minéral ; la direction de plus grande propagation de la chaleur n'en est pas moins, dans les cristaux, celle de la résultante de leurs clivages, d'après les observations que j'ai faites dans les cas discernables.

Dans les roches, le longrain et la schistosité ne peuvent être expliqués, ni par le retrait ni par la stratification ; ils ne peuvent l'être que par une structure particulière imposée à la masse postérieurement à sa première formation par des forces extérieures, par des agents mécaniques.

Tel est en ce moment, pour moi, l'état de la question ; ce qui est incontestablement acquis, c'est l'existence, dans un grand nombre de roches métamorphiques, schistes cristallisés, ardoises, schistes argileux, de deux directions planes de séparation facile, qu'on peut appeler *clivages* ; le *principal* est la *schistosité* ordinairement apparente dans les roches ; l'autre clivage, qu'on peut regarder comme *secondaire* à cause de sa moins grande netteté, est le *longrain* ordinairement invisible. Ces deux directions peuvent être facilement reconnues au moyen des courbes isothermes. Les roches douées de ces deux clivages possèdent donc une sorte de structure pseudo-régulière, pseudo-cristalline, produite par les plissements, les pressions, les torsions qui les ont tourmentées.

Tous ces faits vérifient la règle générale que j'ai posée. *La chaleur se propage plus facilement entre les plans qui ont entre eux le moins de cohésion.*

Je ne crois pas qu'on puisse regarder l'ensemble de ces

faits comme une réunion de particularités curieuses, mais sans application intéressante. Leurs connexions avec les mouvements du sol permettent d'analyser et de comprendre ces mouvements; elles donnent une incontestable vérification des conclusions que Sorby, Tyndal, M. Daubrée, ont tirées de leurs savantes expériences, devenues classiques.

J'ai fait remarquer plusieurs fois aussi que les variations de la conductibilité de la chaleur suivant la direction où on l'observe dans les roches doit être prise en grande considération lorsqu'on étudie la propagation du sol pour la chaleur; qu'on ne peut conclure, par exemple, d'un accroissement plus rapide avec la profondeur dans une région, à une épaisseur moindre de la partie solidifiée du globe terrestre, sans avoir mesuré le pouvoir conducteur propre des roches, ou mieux, leur pouvoir conducteur dans la direction verticale, si tant est qu'on puisse connaître jusqu'à d'assez grandes profondeurs, et les roches qui composent le sol de la région où se font les mesures, et les inclinaisons de leurs plans de clivage, lorsqu'elles sont schisteuses.

MM. Herschel et Lebour, qui ont été chargés par l'Association britannique pour l'Avancement des sciences de faire des expériences sur ce sujet, ont reconnu la part qu'ils auraient à faire à mes résultats, et je les en remercie dans l'intérêt de la science. Je n'ai pu malheureusement jusqu'ici trouver le temps de contribuer plus directement à l'étude de cette question; mais, je suis convaincu que les deux savants anglais la mèneront à bonne fin.

Remarque importante. — Les belles études de Sorby, de Tyndal et de M. Daubrée sur l'origine mécanique de la schistosité, de M. Daubrée sur l'origine des diaclases, ont fourni à mes investigations un champ de plus en plus

vaste; mais, de leur côté, mes recherches ne sont pas superflues; elles ajoutent une démonstration nouvelle à celle que peut donner l'expérience directe. M. Daubrée m'avait confié des matières qu'il avait rendues schisteuses en les comprimant; il a signalé dans son grand ouvrage intitulé *Études synthétiques de géologie expérimentale* l'identité du mode de propagation de la chaleur dans les roches naturellement schisteuses et dans les matières qui le deviennent artificiellement.

Reproduction du longrain en même temps que de la schistosité. J'ai pu produire à la fois la schistosité et le longrain dans les matières plastiques, telles que la glaise d'Issy, en les comprimant à l'aide des puissantes machines de la Compagnie des chemins de fer Paris-Lyon-Méditerranée, dans une sorte de tiroir qui laissait s'écouler par un de ses côtés seulement la matière comprimée par un piston. Les ellipses isothermes montrent que ces masses sont schisteuses parallèlement à la surface du piston et qu'elles ont acquis sur le plan de la schistosité un longrain parallèle aussi à l'écoulement.

Les grands axes des courbes produites sur le plan de la schistosité et sur une section perpendiculaire permettent de reconnaître la direction de la pression et celle de l'écoulement.

Il en a été de même pour les diaclases. Dans des morceaux de verre tordus et cassés sous l'influence de cette torsion de manière à produire des fentes analogues aux diaclases par M. Daubrée, j'ai obtenu des courbes isothermes d'une excentricité faible, il est vrai, mais mesurable. Il reste à voir pourquoi le grand axe des courbes est ordinairement, comme le longrain, parallèle à une bissectrice des diaclases dans les roches où l'on observe nettement ces fentes.

Je n'ai pas marché au hasard, ni simplement obéi au courant des découvertes dans ces recherches. J'ai eu pour guide de mon côté des idées théoriques dont j'ai constamment poursuivi la démonstration.

CHAPITRE III

IDÉES THÉORIQUES QUI M'ONT DIRIGÉ DANS CETTE ÉTUDE

Elles ont eu pour point de départ le désaccord des relations auxquelles j'étais parvenu et d'un certain nombre des observations de de Senarmont.

De Senarmont avait formé des courbes isothermes à la surface de plaques de verre comprimées sur les côtés au moyen d'un étau à mâchoires parallèles. La courbe était une ellipse ayant son petit axe parallèle au mouvement des mâchoires, et par conséquent à la direction où s'exerçait la pression. Donc le rapprochement des parties, c'est-à-dire l'augmentation de densité dans cette direction y diminuait la conductibilité calorifique. Un cristal de quartz comprimé de même offrait un phénomène analogue.

De mes expériences nombreuses j'ai dû tirer cette règle que la chaleur se propage plus difficilement dans la direction perpendiculaire que dans les directions parallèles aux plans de clivage. Or, Bravais, Frankenheim, et, en général, les cristallographes qui se sont occupés de spéculation sur la structure des corps ont émis cette opinion, évidemment très probable, que la densité réticulaire d'une substance régulièrement cristallisée devait être plus petite dans la direction normale à un plan de clivage facile que dans l'une des directions de ce plan. Donc la chaleur se

propage mieux suivant les directions de plus grande densité; *la température s'élève, lorsque la résistance au passage du flux de chaleur augmente.* Il en résulte que dans l'expérience de de Senarmont l'ellipse devrait avoir son plus grand axe dirigé dans le sens de la pression. L'observation faite par de Senarmont n'est exacte qu'à une condition. Il faut que la pression dépasse les limites d'élasticité de la matière sur laquelle on l'exerce. Il ne me paraît pas probable qu'en deçà de leurs limites d'élasticité les parties puissent se rapprocher assez pour que la courbe isotherme soit sensiblement modifiée. J'ai répété l'expérience au moyen de mon appareil, en comprimant une plaque de verre au moyen d'une presse hydraulique, et je n'ai rien obtenu. Or, si on considère que de Senarmont perçait les plaques, et que par le trou il faisait passer une tige, on remarque immédiatement que la plaque étant comprimée, la tige l'est aussi et s'aplatit perpendiculairement à la pression. De là un allongement probable de la courbe isothermique perpendiculaire aussi à cette pression. De plus, même réussie, l'expérience ne serait pas bien probante. Car, serrée entre les deux mâchoires d'un étau, la plaque se courbe en arc, et si la surface supérieure forme la convexité de cet arc, les particules y sont tirées, écartées l'une de l'autre, dans le sens de l'effort, celui de la traction allant des différents points de l'arc vers les mâchoires de l'étau ; on produit donc plutôt un éloignement qu'un rapprochement des parties dans cette direction, sur la face supérieure; c'est pourquoi, suivant ma manière de voir, le petit axe de la courbe isotherme a cette direction.

Il y a un phénomène physique, celui du retrait, qui opère une vraie condensation suivant la direction où il agit. Or, dans tous les cas où l'action du retrait peut s'apprécier au moyen des courbes isothermes, celles-ci ont leur grand

axe parallèle aux directions suivant lesquelles ce retrait a exercé son action.

Dans certains cas, il est vrai, de Senarmont avait en apparence raison. Comprimons une masse d'argile, nous la rendons schisteuse ; prenons maintenant un morceau de cette masse et faisons une surface plane de la tranche qui ressemblera, si l'on veut, à celle d'un livre. Produisons enfin sur cette tranche une courbe isotherme ; celle-ci aura la forme d'une ellipse, et le grand axe de l'ellipse est parallèle à la schistosité, perpendiculaire à la pression qui a développé cette schistosité. Mais ce n'est pas là ce que de Senarmont a vu, ce qu'il a exprimé ; pour lui le petit axe de l'ellipse était parallèle à la direction de plus grande densité. Or, on a eu beau la comprimer dans un sens, la masse d'argile s'est extravasée ; les particules qui la composent ont formé de véritables membranes perpendiculaires à la pression, et ces membranes contiennent les directions de plus grande densité réticulaire. Il est évident que dans une argile rendue schisteuse par la pression ou dans une ardoise naturellement schisteuse, la densité moléculaire est plus grande suivant le plan de schistosité que dans la direction perpendiculaire. Donc, et ce n'est pas ici une simple hypothèse comme pour les plans de clivage, c'est un fait démontré par des observations incontestables, la chaleur se propage plus facilement suivant les directions de plus grande densité. Mais alors cette hypothèse de Bravais, de Frankenheim, que la densité suivant les plans de clivage est plus grande que dans la direction perpendiculaire aux mêmes plans, cette hypothèse est elle-même rendue des plus certaines. Il n'est donc plus étonnant que les directions où la chaleur se propage le plus facilement soient celles de plus grande élasticité ; que celles de moindre résistance à la propagation de la

chaleur soient en même temps celles du maximum de la résistance à la flexion.

Il est vrai que certains cristaux font exception ; j'en ai déjà cité comme exemple le calcaire, où le grand axe de l'ellipsoïde isotherme est parallèle à l'axe de figure des cristaux ; mais les observations de Mitscherlich et de M. Fizeau nous ont appris que le calcaire échauffé se contracte au lieu de se dilater suivant les directions de ce plan. Le renversement de signe a donc lieu pour le changement de volume comme pour celui de la variation relative de la température. Des faits du même genre s'observent sur la base des cristaux des feldspaths.

Tel a été sommairement la suite des idées qui m'ont amené à chercher les relations de ce phénomène de la propagation de la chaleur avec des variations de la densité, de l'élasticité, dans les minéraux clivables et plus tard dans les masses à structure homogène, mais variable dans les différentes directions, telles que les roches schisteuses. Quant aux résultats que j'ai énoncés plus haut, ils sont indiqués par la théorie de la manière suivante :

Le retrait opérant un rapprochement des parties d'une masse matérielle dans la direction de son effort, sur un plan perpendiculaire aux surfaces de séparation auxquelles il donne lieu, l'ellipse isothermique a son grand axe perpendiculaire à ces surfaces, ou parallèle à la direction suivant laquelle ont été condensés les éléments de la masse matérielle. Le retrait ayant une faible action ne rapproche pas les parties d'un corps au delà de leur limite d'élasticité.

Il n'en est pas de même de la pression. Ici les petits éléments de la masse matérielle comprimée se rapprochent l'un de l'autre tout d'abord dans la direction suivant la-

quelle s'exerce la pression ; mais bientôt, au lieu de se condenser dans cette direction, ils se disposent en espèces de lames perpendiculaires à la pression ; sous l'influence combinée de la température élevée, provenant, soit de la pression, soit de la région profonde du globe où ils se trouvent, et de celle des vapeurs qui emplissent l'espace de ces régions, ou de l'eau qu'ils contiennent eux-mêmes, ils subissent une véritable cristallisation et forment des membranes perpendiculaires à la direction suivant laquelle agit la pression.

On peut rapprocher ces faits des belles expériences de M. Tresca sur l'écoulement des corps solides.

Enfin, une traction doit opérer un écart des éléments qui constituent les roches. Les courbes isothermes ont leur petit axe parallèle à la direction de toutes les tractions et à celle des pressions assez fortes pour écraser des masses de façon à faire jouer leurs éléments les uns sur les autres.

Coïncidence des axes de l'ellipsoïde isothermique et de ceux d'élasticité. — Comme on vient de le voir, ces recherches m'ont entraîné à plusieurs digressions apparentes ; celles-ci avaient cependant pour objet d'élucider les premières.

Par exemple, la relation entre les clivages et la conductibilité thermique est connexe de celle qui existe entre cette conductibilité pour la chaleur et l'élasticité. Ici, je me suis rencontré avec un célèbre physicien suédois, Angström. Angström avait déjà remarqué que l'axe de plus grande conductibilité thermique se rapproche, dans le gypse, de celui de la plus grande élasticité sonore à quelques degrés près ; il avait fait une observation analogue sur le plan de symétrie de l'orthose. Mais en ébranlant par les bords des disques circulaires de gypse fixés en leur centre, suivant la méthode de Savart, il a produit des lignes

nodales de forme curviligne, dont le périmètre s'exprime par une équatation du 4[e] degré ; en outre, ces courbes varient suivant lui comme orientation avec la hauteur du son, en sorte que les lignes nodales principales dispersées pour les différents sons, comme les axes d'élasticité optique pour les différentes couleurs, n'y conservent pas une direction constante. Je crois avoir démontré l'imperfection de la méthode d'Angström ; en effet, *la forme de cercles ne me paraît pas celle qu'il faut employer pour des matières où l'élasticité n'est pas la même dans tous les sens autour d'un même point*. J'ai donné aux contours de mes disques la forme d'ellipses, en faisant varier la direction et les longueurs relatives de leurs axes. Or, en faisant varier les axes des disques elliptiques du gypse, tout en leur donnant la direction que montrent dans cette substance ceux de l'ellipse de conductibilité thermique, j'ai vu les lignes nodales ramenées à la forme simple de deux diamètres rectangulaires entre eux, lorsque le rapport des axes du disque est de 1,44 environ ; et ces diamètres coïncident alors avec les axes de l'ellipse des conductibilités. Pour toute autre direction, et pour tout autre rapport des axes du disque, les lignes nodales cessent d'être simples et deviennent des branches d'hyperboles dont les asymptotes sont à une distance angulaire variable des axes du disque. Ces expériences fort délicates m'ont démontré péremptoirement que l'axe principal d'élasticité sonore sur le plan g^1 se confond exactement et non pas seulement d'une manière approximative avec l'axe de l'ellipse isothermique et avec celui de l'ellipse de décollement.

Dans un travail antérieur, j'avais chargé de poids les extrémités libres de lames de gypse encastrées à l'autre extrémité dans une pince et parallèles les unes au plus grand, les autres au plus petit axe des ellipses de décolle-

ment, ou des ellipses isothermiques superposables aux premières. Le rapport des coefficients d'élasticité était d'environ 2, qui est sensiblement le carré de 1,44. Un savant allemand, M. Caromila, a repris exactement le même procédé que moi un ou deux ans plus tard. Il a trouvé un rapport plus considérable, trop élevé suivant moi.

En ébranlant par le centre des disques de quartz hyalin parallèles à l'axe et à une face latérale du prisme, j'ai noté le son rendu lorsqu'on fixait le disque aux deux extrémités de l'axe de principale symétrie. Le son s'est élevé de près d'un ton lorsque je fixais les deux extrémités de la direction perpendiculaire sur le disque à l'axe principal. Dans le quartz, l'axe principal est la direction de plus grande conductibilité thermique. Il en doit être évidemment ainsi, la plus grande conductibilité thermique étant parallèle à la plus grande élasticité. J'ai pu d'expériences analogues déduire au moins une forte présomption de la coïncidence de la direction de plus grande élasticité sur le plan *p* ou base des cristaux d'orthose et de celle de leur plus grande conductibilité thermique sur le même plan, quoique celui-ci offre une de ces rares exceptions dont j'ai parlé plus haut, celle d'un plus grand axe de conductibilité thermique perpendiculaire et non parallèle à une direction plane de clivage plus facile.

Un résultat identique s'est présenté à moi, lorsque j'ai répété ces expériences sur des disques d'ardoise de Fumay, à faces parallèles à la schistosité. J'ai marqué deux points extrêmes d'un diamètre de ce disque parallèle au longrain. J'ai fixé ces deux points et j'ai ensuite ébranlé par le centre le disque percé d'un trou. La direction du longrain est celle d'un clivage plus facile, d'une plus grande élasticité, d'une plus grande cohésion tangentielle, d'une plus

facile propagation de la chaleur. J'ai noté le son rendu ; puis j'ai fixé les deux extrémités du diamètre perpendiculaire ; l'ébranlement du disque a donné lieu à la production d'un son plus aigu que dans le premier cas (1).

On peut objecter à cette théorie qu'on ne sait pas encore mesurer les clivages. J'ai entrepris à cet égard une série d'expériences qui sera publiée très prochainement.

BIBLIOGRAPHIE RELATIVE A CES RECHERCHES

Comptes rendus Ac. sc., année 1872, t. LXXIV, pp. 940, 1082, 1501. Sur les anneaux colorés produits dans le gypse par la pression et sur leur connexion avec l'ellipsoïde des conductibilités thermiques et avec les clivages. — T. LXXVIII (27 avril 1874 et t. LXXXI, 20 déc. 1875). Sur la propagation de la chaleur dans les roches schisteuses.

Annales Chimie et Physique, 4e sér., t. XXIX, p. 5. Mémoire sur la propagation de la chaleur dans les corps cristallisés (Thèse soutenue devant la Faculté des sciences de Paris le 4 mars 1873).

Bulletin de la Société géologique de France, t. Ier. Note sur la conductibilité des corps cristallisés pour la chaleur et sur la conductibilité des couches du globe pour le son, p. 117. — Même tome, p. 252. Sur les propriétés thermiques des cristaux. — T. II, p. 264. Sur la propagation de la chaleur dans les roches à texture schisteuse. — T. III, p. 499. De la propagation de la chaleur dans les corps ; de ses relations 1° avec la structure des minéraux ; 2° avec le métamorphisme des roches. En appendice : Description

(1) *Relations entre la propagation de la chaleur et l'élasticité sonore dans les roches et dans les corps cristallisés*, par Ed. JANNETTAZ (Bull. Soc. géol., 3e sér., t. V, p. 410).

de l'ellipsomètre avec une planche représentant cet appareil. — T. IV, p. 1. Sur l'analyse minéralogique de quelques roches de la Haute-Savoie et sur leurs propriétés thermiques ; 2° Sur les applications des propriétés thermiques à la cristallographie. — Même tome, p. 553. Sur la conductibilité thermique dans certaines roches rendues artificiellement schisteuses, etc. — T. V. Relations entre la progagation de la chaleur et l'élasticité sonore dans les roches et dans les corps cristallisés. — T. IX. Mémoire sur les connexions de la propagation de la chaleur dans les roches avec leurs différents clivages et avec les mouvements du sol qui les ont produits.

Bulletin de la Société Minéralogique de France. t. Ier, p. 19. Sur un appareil à conductibilité thermique. — T. VII, p. 169. Sur l'équation des courbes isothermiques.

ÉTUDES D'OPTIQUE MINÉRALOGIQUE

Recherches sur certaines anomalies optiques présentées par des cristaux du système cubique ou régulier.

(Bulletin de la Société Minéralogique de France, t. II, p. 124 et 191 ; t. III, p. 20.)

On sait qu'un assez grand nombre de cristaux du système cubique taillés en lames minces montrent, dans la lumière polarisée, des phénomènes de coloration que la théorie ne peut expliquer que de deux manières différentes. D'après une première opinion, le cristal est en réalité composé de cristaux d'un système anisotrope groupés de façon à ce que leur enveloppe extérieure ait géométriquement le faciès d'une des formes du système cubique. M. Mallard a généralisé avec une grande habileté de calcul

cette idée entrevue par Delafosse et l'analyse optique d'un certain nombre de cristaux à propriétés anomales paraît, dans un assez grand nombre de cas, donner raison à cette théorie. Mais il y a des substances bien régulièrement cristallisées auxquelles cette explication ne me semble pas convenir.

Brewster qui n'ignorait pas ces anomalies avait émis une opinion différente : c'est que certains diamants, par exemple, devraient l'action exercée çà et là par quelques parties de leur masse sur la lumière polarisée, à une tension produite par des gaz renfermés dans les régions actives. J'ai repris cette question ; j'ai examiné optiquement un grand nombre de cristaux de cette pierre précieuse. J'ai vu qu'un grand nombre agissent en effet, mais seulement en des points où ils présentent des taches. L'aire de cette action est en général très restreinte dans les cristaux de diamant, dont la masse presque toute entière est complètement dépourvue de toute propriété analogue à celle des cristaux biréfringents. J'en ai observé jusqu'ici un seul qui s'illuminait entièrement dans la lumière polarisée ; mais il était jaune et composé de fibres courbes qui se croisaient dans toutes les directions. Je crois donc pouvoir me ranger à l'opinion de Brewster pour l'explication des anomalies dans le diamant.

D'autres substances, qu'on manie plus facilement à cause de leur abondante fabrication, les aluns de potasse ou d'ammoniaque, offrent des phénomènes optiques analogues, mais bien plus saisissants. On trouve en effet des cristaux de ces aluns, parfaitement octaédriques, très limpides, qui n'ont aucune action sur la lumière polarisée. Dans quelques autres aussi régulièrement cristallisés, lorsqu'on les taille parallèlement à une face du cube et qu'on les interpose entre deux nicols croisés, on distingue quatre secteurs

colorés deux à deux des mêmes couleurs (secteurs opposés) ou de couleurs complémentaires (secteurs adjacents). Ces cristaux actifs ne sont jamais d'une limpidité absolue. J'ai eu l'idée de faire cristalliser de l'alun de potasse dans de l'eau chargée d'acide carbonique à 12 atmosphères de pression, c'est-à-dire dans un siphon d'eau de seltz. La dissolution s'est opérée pendant l'été. L'hiver suivant, qui était celui des froids mémorables de 1879 à 1880, j'ai retiré du flacon un magnifique octaèdre formé d'une masse limpide et d'un noyau fissuré, qui emprisonnait de l'acide carbonique. Le cristal taillé convenablement présente les quatre secteurs que j'ai indiqués plus haut. Il ne me paraît pas douteux que le gaz renfermé dans le cristal soit la cause de son action sur la lumière polarisée. Je donne du fait une explication précisément contraire de celle que M. Mallard applique en général à tous ces cas d'anomalie. Suivant moi, les particules intégrantes du cristal, ou, si on aime mieux, les nœuds de son réseau ont la symétrie propre au système cubique; mais les plans dont l'ensemble constitue le cristal ne sont pas restés rigoureusement parallèles pendant l'accroissement. La division du cristal en quatre secteurs qui brillent deux à deux de couleurs complémentaires me paraît en rapport avec les différences que présente l'attaque d'un cristal d'alun par les acides. J'appuie cette opinion sur des recherches qui ont été commencées par Beudant, et que j'ai continuées. L'alun de potasse qui cristallise en octaèdres réguliers dans les acides en général se charge, lorsqu'il est déposé par l'acide chlorhydrique, des facettes du dodécaèdre pentagonal. Telle était l'observation de Beudant. J'ai constaté que si l'on abandonne un octaèdre régulier d'alun à l'action érosive de l'acide chlorhydrique, cet acide opère de vraies troncatures sur les arêtes des cristaux, et les facettes ainsi développées

par érosion sont encore celles de l'hémiédrie à faces parallèles. Or, on sait que l'acide fluorhydrique fait apparaître par une érosion analogue des facettes plagièdres sur les cristaux de quartz, lors même qu'ils n'en présentent pas par eux-mêmes avant l'attaque de l'acide. Mais les cristaux de quartz dépourvus de facettes plagièdres sont tout aussi dissymétriques que ceux qui en sont naturellement ornés. J'ai donc cru pouvoir dire, dès cette époque, que l'acide chlorhydrique ne changeait pas la symétrie propre aux cristaux d'alun, qu'il jouait simplement vis-à-vis de ces cristaux, comme l'acide fluorhydrique vis-à-vis du quartz, le rôle d'agent révélateur de la dissymétrie interne de la structure cristalline. Cela posé, si les plans d'accroissement du cristal tournent autour des arêtes comme charnières sous l'action d'une pression intérieure, cette rotation n'a pas la même valeur dans deux directions rectangulaires parallèles aux arêtes du cube primitif, puisque ces directions présentent des différences analogues à celles qu'on observe dans les formes hémiédriques à faces parallèles du système régulier.

Biot avait donné aussi une explication de cette anomalie des aluns dans son grad mémoire sur la polarisation lamellaire; mais sa théorie avait paru défectueuse, au moins incomplète en certains points. J'espère que modifiée comme je viens de l'expliquer elle est devenue satisfaisante.

NOTES OU MÉMOIRES PUBLIÉS PAR L'AUTEUR SUR CE SUJET

Sur la variation de la forme dans les aluns (*Bull. Soc. chimique*, 1870, p. 3).

Sur les colorations du diamant dans la lumière polarisée (*Bull. Soc. min.*, t. II, p. 124).

Sur les phénomènes optiques de l'alun comprimé (Même publication, t. II, p. 191).

Réponse à M. Mallard (Même publication, t. III, p. 6).

Sur un nouveau type de cristaux idiocyclophanes.
(Compte rendu de l'Académie des Sciences, t. LXXIV, p. 663, 1872.)

A des recherches optiques se rattachent encore mes observations sur les portions d'anneaux colorés qu'on voit dans les cristaux d'axinite, lorsqu'on les regarde dans la direction d'un axe optique. Haidinger y avait vu le premier des houppes qu'il a signalées dans plusieurs autres cristaux biréfringents colorés. J'ai pour la première fois signalé dans l'axinite l'existence simultanée d'arcs concentriques également colorés J'ai pensé qu'on pourrait les expliquer en supposant que la matière colorante de l'axinite est elle-même cristallisée, et qu'elle apporte son contingent dans le phénomène. Occupé depuis d'autres sujets, j'ai dû laisser provisoirement de côté cette dernière question, qui a été l'objet d'une intéressante discussion, et qui a été expliquée de différentes manières par MM. Bertin, Em. Bertrand, Friedel et Mallard.

Sur les propriétés optiques de la pyromorphite et de la mimétite.

Au moment où M. Bertrand, examinant un grand nombre de minéraux à l'aide de son microscope qui permet l'application de la lumière convergente à de forts grossissements, signalait deux axes optiques dans la mimétite (chloroarséniate de plomb), je faisais la même observation dans plusieurs variétés. J'avais vu comme lui que les pyromorphites pures sont à un axe, et les mimétites également pures à deux axes. Dans un échantillon de Johann-

georgenstadt, une mimétite très bien cristallisée, l'écartement des axes n'était que de 39°. Depuis cette époque, M. L. Michel et moi, nous avons comparé la composition chimique de beaucoup de pyromorphytes ou de mimétites à leurs caractères optiques. Les pyromorphites pures sont bien réellement à un axe; mais quelques-unes paraissent à deux axes, à cause de groupements. J'avais déjà observé un fait du même genre dans la cassitérite (oxyde d'étain) reproduite artificiellement par M. Daubrée. Dans cette espèce, deux cristaux à un axe se groupent suivant un plan de jonction oblique par rapport à l'axe de chacun d'eux, et le groupe prend l'apparence d'un cristal unique à deux axes. Quelque chose d'analogue se présente dans certains échantillons de pyromorphite. Deux ou plusieurs cristaux se groupent sans rester parallèles, et l'axe apparent du groupe n'est parallèle en réalité à aucun des axes des éléments du groupe. Aussi des plaques taillées perpendiculairement à cet axe géométrique, mais non pas optique, montrent-elles des anneaux colorés à contours déformés, des croix noires à branches disloquées. On observe en résumé 4 divisions au point de vue optique dans ce groupe formé par le chloro-phosphate et l'arséniate de plomb naturels: des cristaux hexagonaux de pyromorphites pures à un axe optique; des cristaux hexagonaux de mimétite pures biaxes optiquement; des cristaux ayant la même forme géométrique, mais composés d'un mélange assez intime de chloro-phosphate et de chloro-arséniate, pour que les anneaux colorés soienten quelque sorte intermédiaires entre les anneaux circulaires et ceux à forme de lemniscates (celle-ci douteuse): enfin, les cristaux formés de pyromorphite au centre et de mimétite sur les bords, groupement qui a été signalé pour la première fois par M. Bertrand.

NOTES PUBLIÉES A CE SUJET

Sur les phénomènes optiques de la pyromorphite et de la mimétite, par M. Ed. Jannettaz (*Bull. Soc. min.*, t. IV, p. 39).

Sur les relations des phénomènes optiques et de la composition chimique dans la pyromorphite et dans la mimétite, par MM. Ed. Jannettaz et L. Michel (Même tome, séance du 14 juillet 1881).

Sur l'origine des couleurs et sur les modifications que leur font éprouver l'action de la lumière et l'état de l'atmosphère dans les substances minérales.

Dans le *Bulletin de la Société géologique de France*, 2e sér., t. XXIV, p. 682, j'ai publié des observations sur quelques minéraux de l'Inde, et en particulier sur la nature de leur coloration. Dans la note du tome XXIX, j'ai montré comment la coloration bleue ou violacée des fluorines bicolores de Cornouailles s'évanouit à une certaine température assez peu élevée, mais reparaît après refroidissement si la matière n'a pas été trop chauffée. Cette lumière appelée *épipolique*, et que MM. Stokes et Edm. Becquerel attribuent avec raison à un phénomène de phosphorescence, devient invisible par les temps de brouillards, où l'on n'aperçoit plus dans la fluorine que la couleur de la lumière réfractée.

J'ai étudié aussi l'action des rayons des différentes couleurs sur l'altération des minéraux. De ces premiers essais il résulte qu'il suffit d'enfermer sous des verres rouges le réalgar, pour en assurer la conservation.

J'ai recherché enfin les causes de la coloration de l'émeraude. Cette pierre doit sa couleur verte à un oxyde de

chrome, et la nuance d'un noir de velours qui se mêle à la coloration verte dans les plus belles variétés est due à des particules anthraciteuses ou bitumineuses intimement mélangées.

APERÇU SOMMAIRE DES AUTRES RECHERCHES DE L'AUTEUR DE CETTE NOTE

Sur la présence d'une variété de cordiérite altérée dans des schistes siluriens de Bagnères-du-Luchon.

(Bulletin de la Société géologique de France, t. XX, p. 201, 1863.)

Note pour servir à l'étude des roches de la Nouvelle-Calédonie.

(Bulletin de la Société géologique de France, t. XXIV.)

L'auteur a étudié plusieurs des roches ou des matières minérales rapportées par M. Jules Garnier.

Il a reconnu entre autres la lherzolithe, et il a particulièrement appelé l'attention sur un hydrosilicate d'alumine, de magnésie et de nickel, qu'il avait observé formant un enduit sur du fer chromé dans un échantillon de l'exposition des colonies françaises.

M. J. Garnier a découvert, à cette époque, le gisement de cet hydrosilicate de magnésie et de nickel, qui a reçu les noms de *Garniérite* et de *nouméite*. M. Garnier a reconnu avec une louable impartialité la part que M. Jannettaz a prise dans ses déterminations.

Note sur les minéraux et les roches recueillis dans l'Alaska et les îles Aléoutiennes par M. A. Pinard.

(Bulletin de la Société géologique de France, 3e sér., t. II, p. 122.)

J'ai déterminé la nature des roches de ces îles, trachytes, grès feldspathique, et signalé parmi les minerais qu'on y trouve, le mispickel, l'or natif, le lignite jayet, la chalcopyrite, l'argyrose, etc

Note sur l'analyse minéralogique de quelques roches de la Haute-Savoie.

(Bulletin de la Société géologique de France, 3ᵉ sér., t. IV, p. 416.)

J'ai donné la composition chimique et l'analyse optique de plusieurs roches schisteuses dont j'avais déterminé la conductibilité calorifique : schiste triasique des bains de Saint-Gervais, du schiste houiller de Valorsine, etc.

Note sur une roche talqueuse de la Nouvelle-Calédonie.

(Bulletin de la Société géologique de France, 3ᵉ sér., t. IV, p. 449.)

Détermination de la conductibilité calorifique et de la composition chimique.

Sur une pinite de Changé (Mayenne).

(Bulletin de la Société minéralogique de France, t. III, p. 82.)

Cette matière, qui forme une bande pincée entre le carbonifère supérieur et le dévonien à Changé (Mayenne), avait été regardée par Blavier comme une stéatite quartzeuse. Les caractères physiques sont en effet ceux des matières talqueuses; mais l'analyse chimique y accuse 48,37 0/0 d'alumine et des traces seulement de magnésie. La composition chimique de l'échantillon dont il est question dans la note est celle d'une pinitoïde. Depuis, je suis retourné à Changé; j'ai recueilli sur place un plus grand nombre de morceaux dans des points divers; la comparaison d'analyse, que je publierai prochainement, me permet aujourd'hui de rattacher cette roche plutôt à la paragonite qu'à une matière pinitoïde.

Sur la Bauxite de la Guyane française.

(Bulletin de la Société minéralogique de France, t. Iᵉʳ, p. 70.)

J'ai analysé plusieurs échantillons de cette matière provenant des alluvions de la crique Boulanger, une des petites baies de la rivière Comté, près Cayenne. C'est un

mélange d'hydrate d'alumine (gibbsite) et de sesquioxyde de fer, tantôt anhydre et tantôt hydraté, formant des masses de forme irrégulière, en partie compacte, en partie concrétionnée, de texture souvent pisolithique.

Sur la néphrite de Sibérie et sur des statuettes en pierre du Haut-Mexique.

En collaboration avec M. Léopold Michel.

(Bulletin de la Société minéralogique de France, t. IV, p. 178 et t. VI, p. 34.)

Nous avons analysé trois échantillons des blocs de néphrite recueillis par M. Alibert dans le lit du torrent Anotte, sur les frontières de la Chine. Nous avons étudié la composition chimique et toutes les propriétés physiques de cette matière; nous avons vu qu'elle se classe parmi les jades (amphiboles) de M. Damour.

Nous avons vu que les statuettes du Haut-Mexique (Oaxaca) ont été fabriquées par les Aztèques en partie avec de la serpentine, d'autres avec de l'albite, etc.

Sur le quartz purpurin, imitant le rubis, des minerais cuprifères du Chili.

(Bulletin de la Société géologique de France, 2ᵉ sér., t. XXV, p. 838.)

Sur la formation du cacholong dans les silex de Champigny.

(Bulletin de la Société géologique de France, 1861, 3ᵉ sér., t. XVIII, p. 673.)

Analyse d'un pyroxène vert (chromifère) des mines du Cap.

(Bulletin de la Société minéralogique de France, t. V, p. 281.)

Analyse d'un oligoclase et d'une néphéline de Denise (Haute-Loire).

(Bulletin de la Société minéralogique de France, t. V., p. 322.)

M. Des Cloizeaux a publié de son côté l'étude optique de ces matières.

Analyse de la buratite du Laurium.

(T. VIII, p. 43.)

Analyse chimique et optique du chrysocole de Californie.
(Bulletin de la Société minéralogique de France, t. IX, p. 211.)

Analyse chimique et optique de l'uranite de Madagascar.
(*Loc. cit.*, t. IX, p. 47.)

Sur la génite des Pyrénées.
(*Loc. cit.*, t. XI, p. 206.)

Sur la pharmacolite de Sainte-Marie-aux-Mines (Vosges).
(Même publication, même page.)

Analyse optique et chimique de la turquoise de nouvelle roche.
(*Loc. cit.*, t. XIII, p. 106.)

Analyse optique et chimique de la wernérite du Chili.
(*Loc. cit.*, t. IX, p. 445.)

Note sur les observations de M. Spring.
(Bulletin de la Société chimique de Paris, t. XL et XLI, 1884.)

L'auteur a pu répéter les expériences de M. Spring avec des appareils que la Compagnie des chemins de fer Paris-Lyon-Méditerranée a bien voulu mettre à sa disposition ; il a constaté que la pression seule ne favorise les combinaisons des corps réduits en poudre et mélangés ensemble que grâce à l'élévation de température qu'elle détermine et qu'elle est incapable de provoquer, par exemple, comme l'avait dit M. Spring, la transformation de la tourbe en houille; que la pression seule ne peut pas non plus produire la cristallisation des corps pulvérulents; qu'elle développe seulement, quand elle agit seule et sur des matières plastiques, la schistosité qu'il ne faut pas confondre avec la cristallisation.

Note sur la Lanarkite (sulfate bibasique de plomb de l'Ariège).
(Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. LXXVI, p. 1420.)

Comme celle d'Écosse, analysée par M. Pisani, la Lanarkite de Laquorre (Ariège) est non pas un sulfocarbonate,

mais un sulfate bibasique de plomb. La dispersion inclinée, les angles de ses faces naturelles ou obtenues par clivage, montrent aussi que cette matière appartient bien à la même espèce que celle de Leadhills.

Note sur l'emploi du bisulfate de potasse comme agent révélateur de la galène dans ses mélanges. — Action du bisulfate de potasse sur les monosulfures.

J'ai observé que le bisulfate de potasse $(SO^3)^2KO.HO$ cristallisé, broyé avec de la galène PbS, donne immédiatement lieu à la formation d'hydrogène sulfuré en très grande abondance. L'action du bisulfate, encore très vive sur le monosulfure de fer, sur l'alabandine, monosulfure de manganèse, l'est déjà moins sur le pyrite magnétique (Fe^7S^8) et devient nulle sur les sesquisulfures, à plus forte raison sur les bisulfures.

PRINCIPAUX OUVRAGES DE VULGARISATION

Publiés par M. Jannettaz.

Les Roches. — *Description de leurs éléments.* Méthode de détermination. — Rotschild, éditeur, 13, rue des Saints-Pères (1874). — Même ouvrage, 2e édition, 1884.

Diamant et Pierres précieuses (Même éditeur, 1880).

La partie scientifique et spécialement celle qui concerne la nomenclature des pierres, de la taille du diamant, sont dues à l'auteur de cette note scientifique.

Paris. — Imp. Chaix (Succ. B), rue de la Ste-Chapelle, 5 — 2159-90.